

Краткие сообщения

13

Формирование золотых контактных площадок к сверхпроводящим пленкам методом лазерной абляции

© И.С. Позыгун, Г.М. Серопян, С.А. Сычев, Д.В. Федосов

Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского,
644077 Омск, Россия
e-mail: ser_gm@mail.ru

(Поступило в Редакцию 22 мая 2014 г.)

Представлены исследования формирования золотых контактных площадок методом лазерной абляции на диэлектрических подложках. Механические и электропроводящие свойства контактной площадки позволяют обеспечить надежный электрический контакт сверхпроводящих YBCO-пленок и структур на их основе с электронной навеской. Контактная площадка формируется на подложке перед напылением сверхпроводящей пленки. Высокая адгезия контактной площадки достигается за счет глубокого внедрения частиц лазерной плазмы в материал подложки.

Известны различные способы формирования металлических контактных площадок к тонким сверхпроводящим пленкам $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ (YBCO) для надежной электрической связи элементов сверхпроводниковой электроники с электронной навеской. Традиционно металлические контактные площадки к YBCO-пленкам наносятся поверх пленок [1,2]. Такая технология изготовления контактных площадок имеет существенный недостаток, осложняющий процесс производства надежных и стабильных контактов, так как при нанесении контактных площадок YBCO-пленка подвергается температурному воздействию в условиях высокого вакуума. Данное воздействие приводит к кислородному дефициту материала пленки и разрушению сверхпроводимости приповерхностной области из-за образования диэлектрических слоев. Дополнительная очистка и отжиг увеличивают время производства и усложняют технологический процесс. Для поддержания оптимального значения кислородного индекса применяется, например, плазменное травление поверхности YBCO непосредственно перед нанесением металла с целью удаления нарушенного слоя.

Без использования предварительной металлизации контактная пленка из золота удерживается на диэлектрической подложке за счет ван-дер-Ваальсовского взаимодействия, что обеспечивает адгезию на уровне не более 2 МПа (адгезия, измеренная методом прямого отрыва). При этом химическое взаимодействие, связанное со значительной энергией активации и действующее на малых расстояниях, в случае золотой пленки вносит не существенный вклад. Двухслойные системы типа хром-золото и титан-золото (толщина подслоя ~ 10 нм, толщина золота ~ 1 мкм) испытывают существенное старение при повышенных температурах. Деградация, например, пленок системы NiCr/Au и Ti/Au происходит

в результате взаимодействия золота с материалом адгезивного слоя с образованием интерметаллидов.

Проведенные нами исследования позволили разработать технологию нанесения золотой контактной площадки методом лазерной абляции непосредственно на диэлектрическую подложку (например, SrTiO_3 и LaAlO_3), при которой реализуется хорошая адгезия контактной пленки к подложке за счет глубокого проникновения золота в материал подложки. На следующем этапе методом лазерной абляции выращивается сверхпроводящая пленка YBCO для формирования системы YBCO/Au/подложка. Для напыления золотой контактной площадки использовались вакуумная камера и твердотельный импульсный лазер Nd:YAG с длиной волны излучения 1064 нм, длительностью импульса 16 нс и частотой следования импульсов 10 Гц. Плотность мощности излучения на поверхности золотой мишени составляла $2.4 \cdot 10^{11}$ Вт/см². В вакуумной камере устанавливалось давление 0.5 Па, что обеспечивало необходимый размер и форму плазменного факела. Мишень и подложка нагревались до температуры 500°C. Расстояние мишень-подложка варьировалось от 3 до 10 мм. Поверхность образцов исследовалась на оптическом интерференционном микроскопе МИИ-4 и атомно-силовом микроскопе SOLVER PRO.

Достичь глубокого проникновения золота в диэлектрическую подложку удастся за счет использования технологии лазерной абляции золотой мишени, при котором разогретая до высоких температур плазма лазерного факела активно взаимодействует с поверхностью подложки. При взаимодействии мощного лазерного излучения с металлической мишенью (например, золотой, серебряной, медной и др.) температура плазмы вдоль оси факела монотонно убывает от значений порядка 30 000 К у поверхности мишени до значений порядка 5 000 К на расстоянии 10 мм из-за резкого

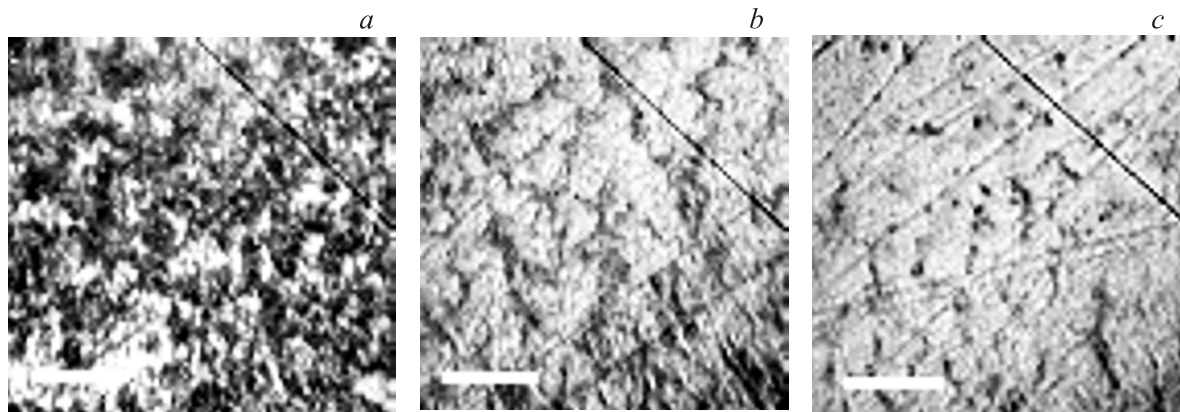


Рис. 1. Поверхность подложки под золотой пленкой на расстояниях 3 (a), 7 (b) и 10 mm (c) от мишени. Длина масштабной метки 30 μm .

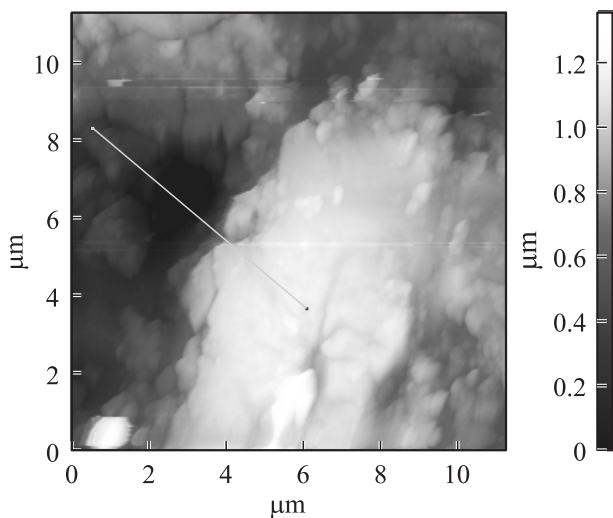


Рис. 2. АСМ-изображения поверхности подложки, находящейся на расстоянии 3 mm от мишени.

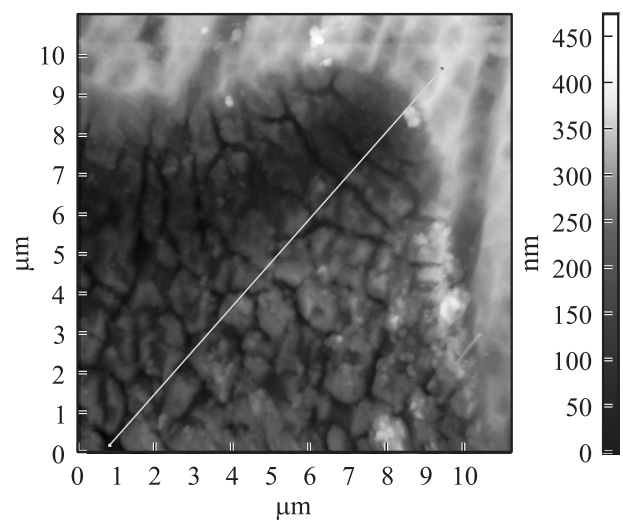


Рис. 4. АСМ-изображения поверхности подложки, находящейся на расстоянии 10 mm от мишени.

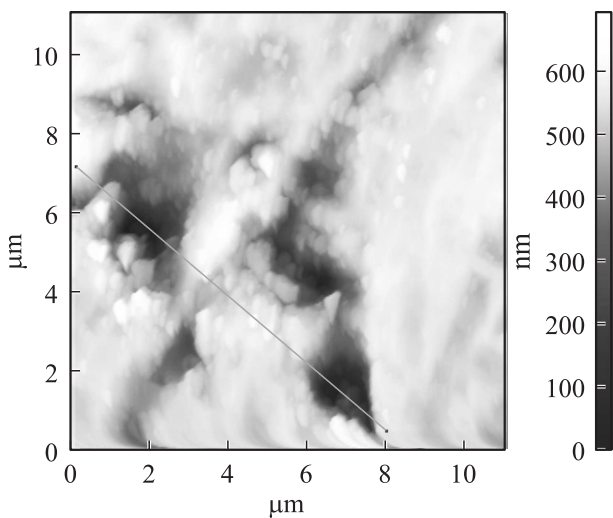


Рис. 3. АСМ-изображения поверхности подложки, находящейся на расстоянии 7 mm от мишени.

расширения плазменного факела [3]. Кроме того, на расстояниях до 10 mm факел имеет форму, близкую к сферической, обеспечивая практически одинаковую скорость спадания температуры во всех направлениях. На расстояниях более 10 mm от мишени плазма постепенно приобретает вытянутую форму из-за особенностей газодинамики расширения плазмы при наличии остаточного буферного слоя газа в напылительной камере [4,5]. Сильное динамическое воздействие лазерной плазмы на поверхность подложки позволяет глубоко внедрить частицы золота в поверхность, обеспечивая сильную адгезию образующейся пленки.

На рис. 1 показаны микрофотографии поверхности подложки под золотой пленкой для расстояний мишень-подложка 3 (a), 7 (b) и 10 mm (c). На рис. 2, 3 и 4 показаны АСМ-изображения поверхности подложки для различных расстояний мишень-подложка. Соответствующие профилограммы, приведенные на рис. 5–7,

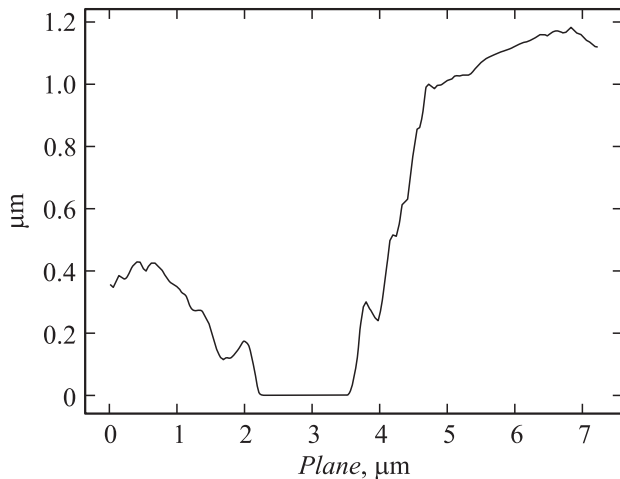


Рис. 5. Профилограмма поверхности подложки, находящейся на расстоянии 3 мм от мишени.

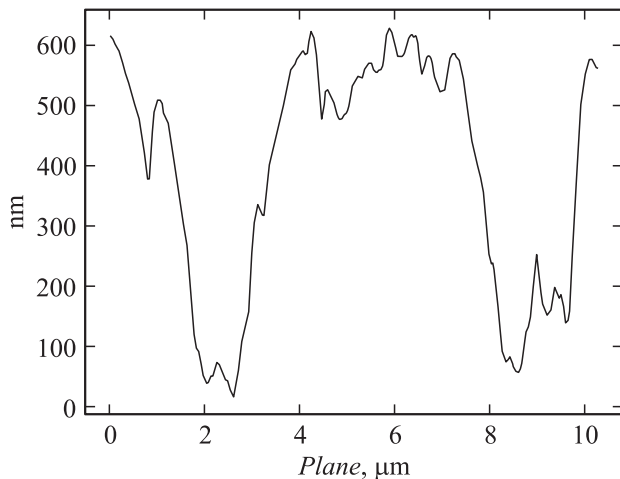


Рис. 6. Профилограмма поверхности подложки, находящейся на расстоянии 7 мм от мишени.

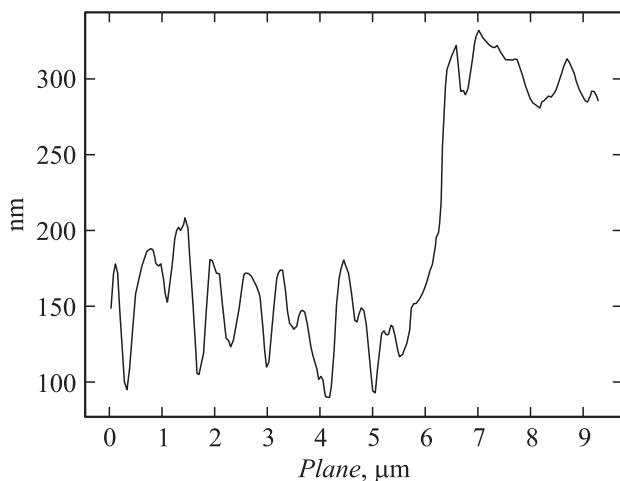


Рис. 7. Профилограмма поверхности подложки, находящейся на расстоянии 10 мм от мишени.

показывают, что степень эрозии поверхности подложки и глубина проникновения частиц золота в подложку зависят от расстояния мишень-подложка, а следовательно, от температуры лазерной плазмы. При этом для расстояния 3 мм (рис. 5) средняя глубина проникновения достигает значений более одного микрометра, что обеспечивает хорошую адгезию золотой пленки и диэлектрической подложки. Для расстояния 7 мм (рис. 6) и 10 мм (рис. 7) средняя глубина проникновения достигает значений 500 и 200 нм соответственно.

Формирование золотой контактной площадки методом лазерной абляции позволило повысить адгезию до 20 МПа, что достаточно для надежной механической и электрической связи сверхпроводящих пленочных структур с внешней электронной навеской. Исследования адгезии проводились методом отрыва золотой пленки от подложки. Полученные на подложке золотые контактные площадки допускают многократное перенапыление сверхпроводящих пленок при температурах 800–840°С без ухудшения электропроводящих свойств.

Список литературы

- [1] Peroz C., Villard C., Buzon D., Tixador P. *Supercond. Sci. Technol.* 2003. Vol. 16. P. 54–59.
- [2] Liu D., Zhou M., Wang X., Suo H., Zuo T., Schindl M., Flukiger R. *Supercond. Sci. Technol.* 2001. Vol. 14. P. 806–809.
- [3] Bogaerts A., Chen Z., Gijbels R., Vertes A. *Spectrochimica Acta. Part B.* 2003. Vol. 58. P. 1867–1893.
- [4] Doggett B., Lunney J.G. // *J. Appl. Phys.* 2011. Vol. 109. P. 093 304.
- [5] Toftmann B., Schou J. // *Phys. Rev. Lett.* 2000. Vol. 84. P. 3998–4001.